

# 論文審査の結果の要旨

氏名 古井 宏和

本論文は7章からなり、第1章には核融合、球状トカマク、磁気再結合、プラズマ計測についての説明、第2章には小型多層巻きログスキーコイルの開発についての説明、第3章にはログスキープローブおよびその性能評価、第4章にはプラズマシースの影響について述べられている。ログスキープローブを用いた実験結果については第5章、結果についての議論は第6章、結論は第7章に述べられている。

トカマクの平衡と不安定性は、プラズマ内部を流れる電流の分布に大きく影響されるので、その計測は重要である。本論文では、局所電流を直接計測するための小型多層巻きログスキーコイルを開発し、TST-2 球状トカマクにおいて平衡と不安定性に関する研究を行った。計測器をプラズマ中に挿入したことによる擾乱を低減するため、コイルの小型化が課題である。また、非理想的なログスキーコイルはコイルの外側を通る電流や磁場変動に感度をもつが、これらを最小化する必要がある。論文提出者は撚り線を用いた多層巻法を考案し、上記課題を解決する小型多層巻きログスキーコイルの開発に成功した(外径 21 mm、内径 12 mm、巻き数 360、厚み 12 mm)。外部磁場感度は同じ寸法・巻き数の通常型ログスキーコイルに比べて2桁改善し、製作時間も大幅に短縮した。

開発したログスキーコイル2個、磁場計測用ピックアップコイル5個、電子温度・密度計測用静電プローブ2個を搭載したログスキープローブを製作した。ログスキープローブは、トカマクの大半径方向に移動可能で、電流貫通穴の向きをトロイダル・トロイダル面で回転可能なので、ベクトル量としての電流の分布が計測できる。ログスキーコイルの貫通穴を閉じた場合と開けた場合で信号を比較した結果、20以上のSN比を達成できたことがわかった。当初は磁力線がログスキーコイルの穴を貫通する幾何学的条件を満たした時に電流が貫通できると考えられたが、磁場が貫通できない場合においても有限な信号が観測された。ログスキーコイルによる計測へのプラズマシースの影響を考え、穴を貫通する電子の軌道を計算した結果、シース電場  $E$  による  $E \times B$  ドリフトの効果で電子の軌道が影響を受け、上記のような場合においても電子が穴を貫通し得ることがわかった。電流の数値計算により、実験で得られた電流の  $\theta$  (電流貫通穴の向きと磁場の成す角) 依存性を再現することができた。

最外殻磁気面がトーラス内側に接した放電と、最外殻磁気面がトーラス外側に設置されているアンテナリミターに接した放電における電流密度分布を比較した。前者では、実験で測定された電流密度分布と、真空容器壁で計測された磁気データに基づき平衡解析コード EFIT により計算された電流密度分布がプラズマ周辺部で概ねよく一致した。しかし後者では、リミターより外側の領域で有限の電流が観測され、トロイダル対称性を前提とする平衡コードでは再現できない局所電流の存在が明らかとなった。また、平

衡状態では磁場と電流の方向が $\pm 1^\circ$  以内で一致していることがわかった。

球状トカマクにおいてしばしば観測される磁気再結合現象 (IRE) の発生過程、およびその結果として生じる現象を調査した。発生過程として、軟 X 線の放射と低周波の磁場揺動の発生から、プラズマ粒子・プラズマ電流のプラズマ周辺部への輸送、そして不安定性の成長という時間関係を明確化し、IRE の制御に必要な新たな知見を得た。3 次元 MHD 計算から予測される IRE 時のフィラメント構造をロゴスキープローブおよび高速カメラを用いて実験的に観測した。また、局所的に電流方向が反転する現象も観測された。これらは磁気コイルによる計測からは明確に観測されず、局所的に電流が直接計測できるロゴスキーコイルを使って初めて明確に観測できた事例であり、極めて重要な結果である。

なお、本論文第 5 章の一部は高瀬・江尻研究室のメンバーとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験の遂行、データ解析、モデリングを行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (科学) の学位を授与できると認める。

以上 1,699 字